

CONTROL CIRCUIT WITH A DIGITAL CONTROLLER REGULATING THE INPUT CURRENT OF AN ELECTRONIC ACTUATOR BY MEANS OF PULSE WIDTH MODULATION

Publication number: WO9824008

Publication date: 1998-06-04

Inventor: BECHER ALWIN (DE); GENZEL MICHAEL (DE);
MOELLER RODOLFO (DE); OJAMIES ARI (DE); TONN
ARMIN (DE); WILD HORST (DE)

Applicant: TELEFUNKEN MICROELECTRON (DE); BECHER
ALWIN (DE); GENZEL MICHAEL (DE); MOELLER
RODOLFO (DE); OJAMIES ARI (DE); TONN ARMIN
(DE); WILD HORST (DE)

Classification:




- international: **F16D48/06; G05B11/28; F16D48/00; G05B11/01;**
(IPC1-7): G05B11/28

- European: F16D48/06; G05B11/28

Application number: WO1997EP06079 19971104

Priority number(s): DE19961048344 19961122

Cited documents:

 US4978865
 US5311548
 XP000526849

Report a data error here

Abstract of **WO9824008**

The invention relates to a control circuit to regulate the input current of an electrical actor, avoiding to a large extent switching hysteresis phenomena at set-point step change.

Data supplied from the **esp@cenet** database - Worldwide

PCT

WELTORGANISATION FÜR GEISTIGES EIGENTUM
Internationales Büro



INTERNATIONALE ANMELDUNG VERÖFFENTLICHT NACH DEM VERTRAG ÜBER DIE
INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM GEBIET DES PATENTWESENS (PCT)

| | | |
|---|------------------|--|
| <p>(51) Internationale Patentklassifikation ⁶ : G05B 11/28</p> | <p>A1</p> | <p>(11) Internationale Veröffentlichungsnummer: WO 98/24008 (43) Internationales Veröffentlichungsdatum: 4. Juni 1998 (04.06.98)</p> |
| <p>(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP97/06079 (22) Internationales Anmeldedatum: 4. November 1997 (04.11.97) (30) Prioritätsdaten: 196 48 344.1 22. November 1996 (22.11.96) DE (71) Anmelder (für alle Bestimmungsstaaten ausser US): TEMIC TELEFUNKEN MICROELECTRONIC GMBH [DE/DE]; Theresienstrasse 2, D-74072 Heilbronn (DE). (72) Erfinder; und (75) Erfinder/Anmelder (nur für US): BECHER, Alwin [DE/DE]; Soldnerstrasse 107, D-90766 Fürth (DE). Genzel, Michael [DE/DE]; Alter Steig 8, D-90574 Roßtal (DE). MÖLLER, Rodolfo [DE/DE]; Siegfriedstrasse 29, D-90461 Nürnberg (DE). OJAMIES, Ari [DE/DE]; Scheurlstrasse 14, D-90478 Nürnberg (DE). TONN, Armin [DE/DE]; Ohmstrasse 65, D-91154 Roth (DE). WILD, Horst [DE/DE]; Am Schloß 1, D-91238 Engelthal (DE). (74) Anwalt: KOLB, Georg; TEMIC TELEFUNKEN microelec- tronic GmbH, Theresienstrasse 2, D-74072 Heilbronn (DE).</p> | | <p>(81) Bestimmungsstaaten: BR, CZ, JP, KR, MX, US, europäisches Patent (AT, BE, CH, DE, DK, ES, FI, FR, GB, GR, IE, IT, LU, MC, NL, PT, SE). Veröffentlicht Mit internationalem Recherchenbericht.</p> |
| <p>(54) Title: CONTROL CIRCUIT WITH A DIGITAL CONTROLLER REGULATING THE INPUT CURRENT OF AN ELECTRONIC ACTUATOR BY MEANS OF PULSE WIDTH MODULATION (54) Bezeichnung: REGELKREIS AUS DIGITALEM REGLER UND REGELSTRECKE ZUR REGELUNG DES EINGANGSSTROMS EINES ELEKTRISCHEN AKTORS UNTER VERWENDUNG DER PULSWEITENMODULATION (57) Abstract The invention relates to a control circuit to regulate the input current of an electrical actor, avoiding to a large extent switching hysteresis phenomena at set-point step change. (57) Zusammenfassung Die Erfindung betrifft einen Regelkreis zur Regelung des Eingangsstroms eines elektrischen Aktors, der das Auftreten von Schalthysteresen bei einem Sollwertsprung weitgehend vermeidet.</p> | | |

LEDIGLICH ZUR INFORMATION

Codes zur Identifizierung von PCT-Vertragsstaaten auf den Kopfbögen der Schriften, die internationale Anmeldungen gemäss dem PCT veröffentlichen.

| | | | | | | | |
|----|------------------------------|----|--------------------------------------|----|--|----|-----------------------------------|
| AL | Albanien | ES | Spanien | LS | Lesotho | SI | Slowenien |
| AM | Armenien | FI | Finnland | LT | Litauen | SK | Slowakei |
| AT | Österreich | FR | Frankreich | LU | Luxemburg | SN | Senegal |
| AU | Australien | GA | Gabun | LV | Lettland | SZ | Swasiland |
| AZ | Aserbaidschan | GB | Vereinigtes Königreich | MC | Monaco | TD | Tschad |
| BA | Bosnien-Herzegowina | GE | Georgien | MD | Republik Moldau | TG | Togo |
| BB | Barbados | GH | Ghana | MG | Madagaskar | TJ | Tadschikistan |
| BE | Belgien | GN | Guinea | MK | Die ehemalige jugoslawische Republik Mazedonien | TM | Turkmenistan |
| BF | Burkina Faso | GR | Griechenland | | | TR | Türkei |
| BG | Bulgarien | HU | Ungarn | ML | Mali | TT | Trinidad und Tobago |
| BJ | Benin | IE | Irland | MN | Mongolei | UA | Ukraine |
| BR | Brasilien | IL | Israel | MR | Mauritanien | UG | Uganda |
| BY | Belarus | IS | Island | MW | Malawi | US | Vereinigte Staaten von Amerika |
| CA | Kanada | IT | Italien | MX | Mexiko | | |
| CF | Zentralafrikanische Republik | JP | Japan | NE | Niger | UZ | Usbekistan |
| CG | Kongo | KE | Kenia | NL | Niederlande | VN | Vietnam |
| CH | Schweiz | KG | Kirgisistan | NO | Norwegen | YU | Jugoslawien |
| CI | Côte d'Ivoire | KP | Demokratische Volksrepublik Korea | NZ | Neuseeland | ZW | Zimbabwe |
| CM | Kamerun | | | PL | Polen | | |
| CN | China | KR | Republik Korea | PT | Portugal | | |
| CU | Kuba | KZ | Kasachstan | RO | Rumänien | | |
| CZ | Tschechische Republik | LC | St. Lucia | RU | Russische Föderation | | |
| DE | Deutschland | LI | Liechtenstein | SD | Sudan | | |
| DK | Dänemark | LK | Sri Lanka | SE | Schweden | | |
| EE | Estland | LR | Liberia | SG | Singapur | | |

5

10 Regelkreis aus digitalem Regler und Regelstrecke zur Regelung des Ein-
gangsstroms eines elektrischen Aktors unter Verwendung der
Pulsweitenmodulation

Bei der Weiterentwicklung von Baugruppen im Kfz-Bereich, wie beispielsweise einer Kupplung, werden zunehmend anstelle von Steuerungen Regelungen
15 verwendet. Regelungen weisen einen geschlossenen Wirkungskreislauf aus einem Regler und einer Regelstrecke mit einer Rückkopplung auf. Dem Regler wird ein Sollwert einer Regelgröße vorgegeben, der diesen zunächst an die Regelstrecke übergibt. Innerhalb der Regelstrecke wird der Istwert der Regelgröße bestimmt und über die Rückkopplung an den Regler des Regelkreises
20 zurückgeführt wird. Abweichungen zwischen dem Istwert und dem Sollwert der Regelgröße werden im Regler selbsttätig durch das Verändern einer Stellgröße ausgeregelt.

Unter der Regelgröße versteht man dabei die zu regelnde physikalische Größe, etwa den Strom oder die Spannung. Der Istwert ist der tatsächliche Wert der
25 Regelgröße, der pro Regelzyklus einmal bestimmt (gemessen) wird. Als Sollwert wird der Wert bezeichnet, der durch einen Sollwertgeber, beispielsweise ein Kupplungspedal, vorgegeben wird, und den die Regelgröße exakt einnehmen soll. Das Regeln der Regelgröße wird durch die Veränderung der Stellgröße bewirkt.

30 Die Summe der Änderungen der Regelgröße bewirkt die Regelabweichung des Regelkreises. Als Regeldifferenz wird die negative (* - 1) Regelabweichung bezeichnet.

Als Störgrößen werden auf den Regelkreis einwirkende Einflüsse bezeichnet, die eine unerwünschte Veränderung der Regelgröße verursachen. Derartige
35 Störgrößen sind beispielsweise Temperatur- oder Frequenzabhängigkeiten der Bestandteile der Regelstrecke und/oder des Reglers.

2

Zur Kompensation von Störgrößen kann in den Regler ein Vorsteuerglied eingefügt werden. Dabei erfolgt die Kompensation der Störgrößen auf der Basis von Sensordaten oder von Kennfeldwerten. Zudem können in eine Vorsteuerung eingehende Größen auf der Basis mathematischer Funktionen verändert werden, sofern dies für die Regelung vorteilhaft ist.

Entsprechend den an die Regelung gestellten Anforderungen kommen in dem Regler unterschiedliche Regeleinrichtungen zum Einsatz, die beim Auftreten einer Regelabweichung ein unterschiedliches Verhalten aufweisen. In der Literatur sind die Proportional (P) -, Integral (I) - und Differential (D) - Regelung, sowie die Kombinationen PI -, PD - und PID - Regelung, bekannt. Zudem können Regelkreise durch Verzweigungen aus mehreren verschiedenen Regeleinrichtungen und Vorsteuergliedern aufgebaut sein. Das Zusammenführen der Verzweigungen des Reglers erfolgt üblicherweise in einem Additionsglied oder einem Multiplikationsglied.

Regler können in analoger - oder in digitaler Schaltungstechnik realisiert werden, die Regelstrecke ist immer in analoger Schaltungstechnik ausgeführt. Bei einer Regelung in digitaler Schaltungstechnik ist, sofern die Sollwerte der Regelgröße nicht als Digitalwerte vorliegen, vor dem Regler ein Analog-Digital-Wandler, und zwischen dem Regler und der Regelstrecke ein Digital-Analog-Wandler angeordnet. Zudem ist in der Rückkopplung der Regelung zwischen dem Regler und der Regelstrecke ein Analog-Digital-Wandler angeordnet. Die Digital-Analog-Wandlung kann dabei vorteilhaft durch die Pulsweitenmodulation realisiert werden.

Regeleinrichtungen weisen eine Reihe von technischen Problemen auf, die bei den verschiedenen Regeleinrichtungen unterschiedlich ausgeprägt sind. Dies sind z.B. die Schwingneigung, die durch ein geeignetes Dämpfungsglied unterdrückt werden kann, oder das Ausbilden von Schalthysteresen.

Unter einer Schalthysterese versteht man das Verhalten einer Regelung bei einem Sollwertsprung zwischen zwei verschiedenen Sollwerten einen Fehler in der Stellgröße zu verursachen, wodurch ein stabiles Ausregeln der Regelgröße erschwert wird.

Bei vielen Regelkreisen muß bei der Regelung einer Regelgröße die Temperatur - und Frequenzabhängigkeit des Widerstandes der Regelstrecke berücksichtigt

3

- werden. Dies geschieht üblicherweise innerhalb der Vorsteuerung eines Reglers, wie es in der Figur 3 dargestellt ist. Dabei werden die temperatur- und frequenzabhängigen Widerstandsschätzwerte mit dem Sollwert der Regelgröße multipliziert. Das dem Digital-Analog-Wandler zugeführte Stellsignale S setzt sich aus dem Anteil $S1$ der Vorsteuerung addiert mit dem Anteil $S2$ der Regeleinrichtung zusammen. In der Figur 4 ist das Verhalten des Reglers bei einem Sollwertsprung von $I_{soll,A}$ auf $I_{soll,B}$ des in der Figur 3 wiedergegebenen Reglers zur Regelung des Eingangsstroms eines elektrischen Aktors dargestellt. In dem Diagramm ist das Stellsignal S über dem Sollwert I_{stell} der Regelgröße I aufgetragen.
- Während der Sollwert $I_{soll,A}$ anliegt setzt sich das Stellsignal S_A aus den Anteilen $S1_A$ und $S2_A$ zusammen. Im Regelzyklus unmittelbar nach dem Sollwertsprung auf den Sollwert $I_{soll,B}$ setzt sich das Stellsignal S aus den Anteilen $S1_B$ und $S2_B$ sowie einem dynamischen Stellwertfehler in der Höhe von $|U2_A - U2_B|$ zusammen, der zum Ausbilden der Schalthysterese führt. Der dynamische Stellwertfehler wird dabei durch den Anteil $S2$ der Regeleinrichtung verursacht, der im ersten Regelzyklus nach dem Sollwertsprung statt dem Anteil $S2_B$ noch den Anteil $S2_A$ zum Stellsignal S beiträgt. Erst nach dem Ende eines Einschwingvorgangs übergibt die Regeleinrichtung den korrekten Anteil $S2_B$ und der Regler das korrekte Stellsignal S_B an die Regelstrecke.
- Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, ein Verfahren zur Regelung gemäß dem Oberbegriff des Patentanspruches 1 anzugeben, bei dem das Ausbilden einer Schalthysterese vermieden wird. Diese Aufgabe wird erfindungsgemäß durch die Merkmale im Kennzeichen des Patentanspruches 1 gelöst.
- Bei dem erfindungsgemäßen Regelkreis aus einem digitalen Regler und einer Regelstrecke wird zur Regelung der Regelgröße „Eingangsstrom“ eines elektrischen Aktors durch die Stellgröße „Stellspannung“ unter Verwendung der Pulsweitenmodulation ein digitaler Regler mit dem folgenden Aufbau verwendet:
- Die von dem Sollwertgeber vorgegebenen Sollwerte des Eingangsstroms werden einem Analog-Digital-Wandler zugeführt. Die Ausgangssignale des Analog-Digital-Wandlers werden einer Vorsteuerung sowie einer Integratorregelung zugeführt. In der Vorsteuerung wird der Sollwert des Eingangsstroms durch eine gemessene Versorgungsspannung dividiert.

Vor der Integratorregelung befindet sich ein erstes Addierglied, mit dem die Rückkopplung der Regelstrecke verbunden ist, und an dem die negierten Istwerte der Regelgröße an den digitalen Regler zurückgeführt werden. Die Ausgangssignale der Integratorregelung und der Vorsteuerung werden in einem Multiplizierglied zusammengeführt.

Zwischen diesem Multiplizierglied und der Integratorregelung ist ein zweites Addierglied angeordnet, das mit einer Kennfeldsteuerung verbunden ist, in der temperatur- und frequenzabhängigen Widerstandswerte der Regelstrecke abgelegt sind. Diese Widerstandswerte wurden experimentell bestimmt und sollten dem Widerstand der Regelstrecke möglichst genau entsprechen.

Das Ausgangssignal des Multipliziergliedes, das ein dimensionsloses, auf 1 normierte Stellsignal darstellt, wird einem Digital-Analog-Wandler zugeführt, der nach der Technik der Pulsweitenmodulation arbeitet. Der Mittelwert der Stellspannung des elektrischen Aktors ergibt sich aus dem Stellsignal multipliziert mit der Versorgungsspannung.

Die Regelstrecke des Regelkreises weist die folgenden Bestandteile auf:

Den elektrischen Aktor, dessen Eingangsstrom geregelt wird, und eine Meßvorrichtung, mit der der Istwert des Eingangsstroms gemessen wird. Das Ergebnis der Messung wird einem zweiten Analog-Digital-Wandler zugeführt, dessen Ausgangssignal dem ersten Addierglied zugeführt wird.

In einer Weiterbildung der Erfindung ist vorgesehen, daß der elektrische Aktor ein Proportionalventil zur Steuerung einer Hydraulik ist, welche das Öffnen und Schließen einer Kraftfahrzeugkupplung bewirkt.

Im folgenden ist das erfindungsgemäße Verfahren am Ausführungsbeispiel einer Regelung für die Einstellung des Kupplungsmomentes einer Kraftfahrzeug-Kupplung im Zusammenhang mit Zeichnungen (Figur 1 und 2) beschrieben. Es zeigen:

Figur 1 den Signalflußplan eines Regelkreises nach dem erfindungsgemäßen Verfahren.

Figur 2 ein Diagramm zur Darstellung der prinzipiellen Verläufe der Stellgröße bei einem Sollwertsprung.

5

- Die Einstellung des Kupplungsmomentes einer hydraulischen Mehrscheiben-Naßkupplung eines Kraftfahrzeugs muß sowohl dynamisch als auch statisch mit minimalen Fehler erfolgen. Dazu wird innerhalb eines Regelkreises der Eingangsstrom I eines Proportionalventils PV geregelt, welches die Höhe des auf eine Kupplung wirkende Hydraulikdruckes einstellt. Der Sollwertgeber der Regelung ist dabei das Kupplungspedal des Kraftfahrzeuges. Die Stellgröße der Regelgröße Eingangsstrom I ist die Stellspannung U_{stell} .
- Der digitale Regler RE des Regelkreises ist in digitaler Schaltungstechnik ausgeführt, während die Regelstrecke RS des Regelkreises mit dem Proportionalventil PV und der Vorrichtung $R_{\text{meß}}$ zur Bestimmung des Istwertes I_{ist} des Eingangsstroms I in analoger Schaltungstechnik ausgeführt ist. Innerhalb des digitalen Reglers RE wird die Stellspannung U_{stell} als Stellsignal S bezeichnet. Die Digital-Analog-Wandlung ist mit der Technik der Pulsweitenmodulation PWM realisiert.
- Figur 1 zeigt einen Signalflußplan einer derartigen Regelung aus einem digitalen Regler RE und der Regelstrecke RS. Der durch das Kupplungspedal vorgegebenen Sollwert I_{soll} des Eingangsstroms I wird im digitalen Regler RE einem ersten Analog-Digital-Wandler AD_1 zugeführt.
- Die Ausgangssignale des ersten Analog-Digital-Wandlers AD_1 werden einer Vorsteuerung VS sowie der Regeleinrichtung zugeführt.
- Die Regeleinrichtung ist als Integratorregelung IR ausgebildet, die keine bleibenden Regeldifferenzen aufweist. Die Änderungsgeschwindigkeit des Stellsignals S ist dabei proportional zur Regeldifferenz.
- Innerhalb der Vorsteuerung VS wird der Sollwert I_{soll} des Eingangsstroms I durch den Meßwert $UB_{\text{meß}}$ der Bordspannung UB des Kraftfahrzeuges dividiert. Unmittelbar vor der Integratorregelung IR befindet sich im digitalen Regler RE ein erstes Addierglied A_1 , an dem die Rückkopplung der Regelstrecke RS angeschlossen ist, und an dem der negierten Istwerte I_{ist} des Eingangsstromes I von der Regelstrecke RS an den digitalen Regler RE zurückgeführt wird. Die Ausgangssignale der Integratorregelung IR und der Vorsteuerung VS werden in einem Multiplizierglied M zusammengeführt.
- Zwischen diesem Multiplizierglied M und der Integratorregelung IR ist ein zweites Addierglied A_2 angeordnet, das mit einer Kennfeldsteuerung KS verbunden ist, in der Widerstandswerte $R(T, f)$ der Regelstrecke RS temperatur- und frequenzabhängig abgelegt sind. Dazu ist die Kennfeldsteuerung KS mit einem Temperatursensor TS verbunden, der die Temperatur T der Regelstrecke

RS bestimmen.

Das Ausgangssignal des Multipliziergliedes M ist das digitale Stellsignal S, welche eine dimensionslose, auf 1 normierte Größe darstellt. Durch den anschließenden Digital-Analog-Wandler DA, der nach der Technik der Pulsweitenmodulation PWM arbeitet, wird das digitale Stellsignale S in die analoge Stellspannung U_{Stell} umwandelt. Der Mittelwert der analogen Stellspannung U_{Stell} ergibt sich aus dem Stellsignale S (Tastverhältnis) multipliziert mit der Bordspannung U_B des Kraftfahrzeuges.

Bei einem Pulsweitenmodulator mit variabler Modulatorfrequenz f werden die Widerstandswerte $R(T, f)$ als ein zweidimensionales Kennfeld in der Kennfeldsteuerung abgelegt. Bei der Verwendung eines Pulsweitenmodulators mit konstanter Modulatorfrequenz f reicht eine Kennlinie $R(T)$ aus.

Die Regelstrecke RS des Regelkreises weist als Bestandteile das Proportionalventil PV, dessen Eingangsstrom I geregelt wird, und eine Meßvorrichtung auf, die in der Figur 1 lediglich durch den Meßwiderstandes R_{mess} dargestellt ist, und mit der der Istwert I_{ist} der Eingangsstroms I bestimmt wird. Das Ergebnis der Messung wird einem zweiten Analog-Digital-Wandler AD_2 zugeführt, der mit dem ersten Addierglied A_1 verbunden ist. Mittels der Meßvorrichtung wird zudem die Bordspannung U_B des Kraftfahrzeuges bestimmt und der Meßwert $U_{\text{meß}}$ der Vorsteuerung VS des digitalen Reglers RE zugeführt.

Die Regelstrecke aus Proportionalventil PV und Meßwiderstand $R_{\text{meß}}$, weist ein Widerstandsverhalten auf, welches von der Temperatur T und von der Frequenz f der Pulsweitenmodulators, abhängig ist.

Bei diesem Aufbau des digitalen Reglers RE setzt sich die dimensionslose Stellgröße S aus dem Anteil der Vorsteuerung VS ($I_{\text{sol}}/U_{\text{meß}}$) multipliziert mit dem Anteil der Integratorregelung IR und mit dem Anteil der Kennfeldsteuerung KS zusammen. Dabei addiert sich das Ausgangssignal der Kennfeldsteuerung KS zu dem durch die Integratorregelung IR fehlerbereinigten geregelten Teil des Widerstandes $R(T, f)$ der Regelstrecke RS.

In der Figur 2 das Verhalten der erfindungsgemäßen Regelung bei einem Sollwertsprung des Eingangsstroms I von dem Sollwert $I_{\text{sol},A}$ auf den Sollwert $I_{\text{sol},B}$ des in der Figur 1 wiedergegebenen Regelkreises dargestellt. In dem Diagramm ist das Stellsignal S über dem Sollwert I_{sol} des Eingangsstroms I aufgetragen.

Während der Sollwert $I_{\text{soll},A}$ anliegt setzt sich das Stellsignal S_A gemäß:

$$S_A = I_{\text{soll},A} * \frac{R_{(T,f)} + \text{Anteil}_{\text{Integratorregelung}}}{UB_{\text{meß}}}$$

zusammen.

- 5 Im Regelzyklus unmittelbar nach dem Sollwertsprung von dem Sollwert $I_{\text{soll},A}$ auf den Sollwert $I_{\text{soll},B}$ setzt sich das Stellsignal S_B gemäß:

$$S_B = I_{\text{soll},B} * \frac{R_{(T,f)} + \text{Anteil}_{\text{Integratorregelung}}}{UB_{\text{meß}}}$$

zusammen.

- 10 Der geforderte Stellwert S_B wird direkt im ersten Regelzyklus nach dem Sollwertsprung erreicht, ein dynamische Stellwertfehler stellt sich nicht ein. Eine Schalthysterese, die ein stabiles Ausregeln des Eingangsstroms I verhindern würde, kann sich bei der erfindungsgemäßen Regelung nicht ausbilden.

Somit werden gleichmäßige Übergänge des Kupplungsmomentes erreicht, die eine grundlegende Voraussetzung für die Realisierung eines guten Fahrkomforts bei einer geregelten, hydraulischen Mehrscheiben-Naßkupplung sind.

5

Patentansprüche

1. Regelkreis aus digitalem Regler (RE) und Regelstrecke (RS) zur Regelung des
10 Eingangsstroms (I) eines elektrischen Aktors (PV) unter Verwendung der
Pulsweitenmodulation (PWM), wobei der
digitale Regler (RE) die folgenden Bestandteile aufweist
- 15 • die Parallelschaltung einer Vorsteuerung (VS) und einer Integratorregelung (IR), deren Eingänge mit dem Ausgang eines ersten Analog-Digital-Wandlers (AD₁) verbunden sind, dem der Sollwert (I_{soll}) des Eingangsstroms (I) zugeführt wird,
 - ein in Reihe zwischen dem erstem Analog-Digital-Wandler (AD₁) und der Integratorregelung (IR) angeordneten erstes Addierglied (A₁), dem der negierte Istwert (I_{ist}) des Eingangsstroms (I) von der Regelstrecke (RS) zugeführt wird,
 - 20 • ein Multiplizierglied (M), dem die Ausgangssignale der Vorsteuerung (VS) und der Integratorregelung (IR) zugeführt werden, und der als Ausgangssignal ein digitales Stellsignal (S) bildet,
 - ein zwischen dem Multiplizierglied (M) und der Integratorregelung (IR) angeordneten zweiten Addierglied (A₂), dem die Ausgangssignale einer Kennfeldsteuerung (KS) zugeführt werden, in der temperatur- und frequenzabhängige Widerstandswerte ($R(T,f)$) der Regelstrecke (RS) abgelegt sind,
 - 25 • und einen zwischen dem Multiplizierglied (M) und der Regelstrecke (RS) angeordneten, die Pulsweitenmodulation (PWM) verwendenden Digital-Analog-Wandler (DA), dessen Ausgangssignal eine analoge Stellspannung U_{stell} ist, und dessen Mittelwert das analoge Stellsignal (S) multipliziert mit der Versorgungsspannung (UB) der Regelstrecke (RS) ist,
 - 30

und wobei die Regelstrecke (RS) folgende Komponenten aufweist

- den elektrischen Aktor (PV),
- eine Meßvorrichtung ($R_{\text{meß}}$) zur Bestimmung des Istwertes (I_{ist}) des Eingangsstroms (I) des elektrischen Aktors (PV),
- 5 • und einen zweiten Analog-Digital-Wandler (AD_2), der mit dem ersten Addierglied (A_1) verbunden ist.

2. Regelkreis Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß der elektrische Aktor (PV) elektromagnetisches Proportionalventil ist.

1 / 2

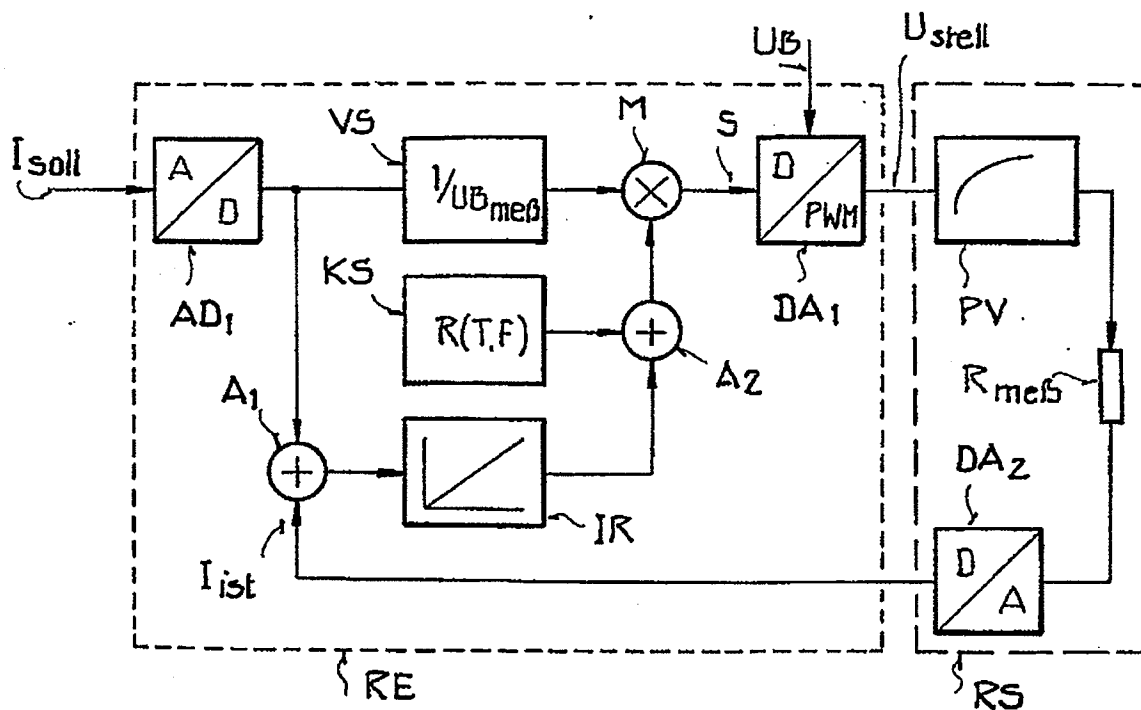
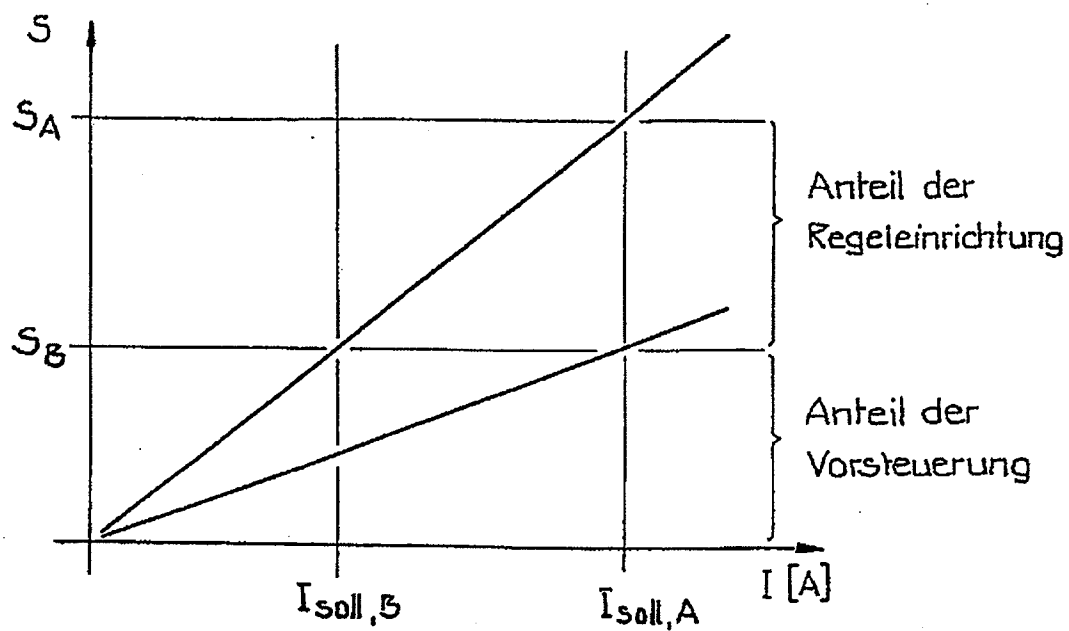


FIG. 1

FIG. 2



2 / 2

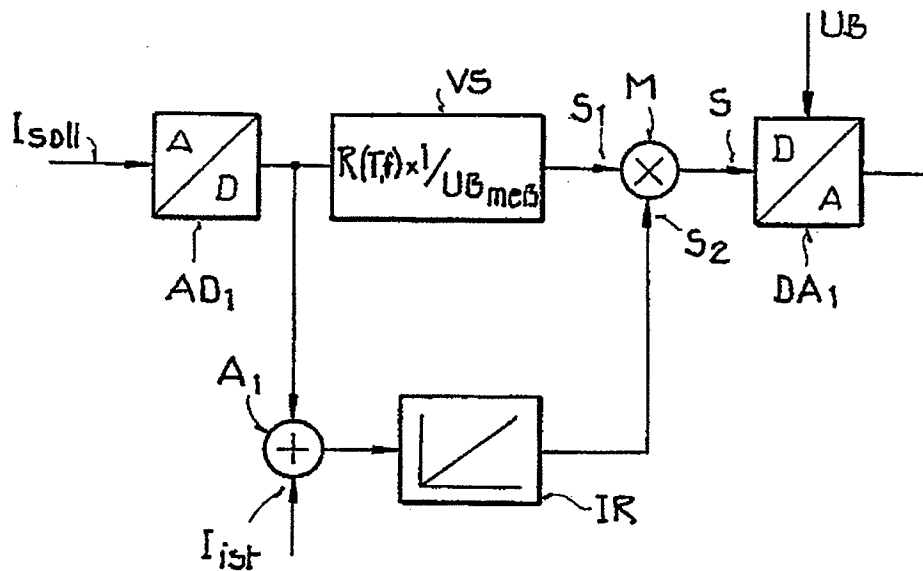
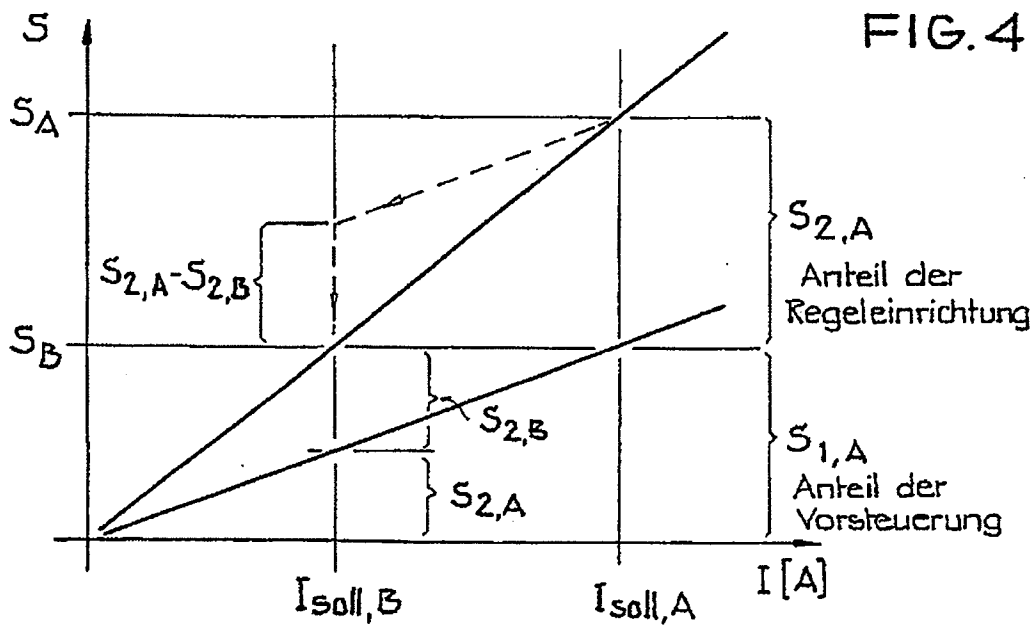


FIG. 3



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Inter .nal Application No

PCT/EP 97/06079

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

IPC 6 G05B11/28

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

IPC 6 G05B

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practical, search terms used)

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

| Category * | Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages | Relevant to claim No. |
|------------|--|-----------------------|
| A | US 4 978 865 A (HARTMANN RALF ET AL) 18 December 1990 see the whole document --- | 1 |
| A | US 5 311 548 A (NIKOLAUS HEINRICH) 10 May 1994 see the whole document --- | 1 |
| A | LIM K W ET AL: "PROPORTIONAL CONTROL OF A SOLENOID ACTUATOR" PROCEEDINGS OF THE INTERNATIONAL CONFERENCE ON INDUSTRIAL ELECTRONIC CONTROL AND INSTRUMENTATION. (IECON), BOLOGNA, SEPT. 5 - 9, 1994 SPECIAL SESSIONS, SIGNAL PROCESSING AND CONTROL, vol. 3 OF 3, 5 September 1994, INSTITUTE OF ELECTRICAL AND ELECTRONICS ENGINEERS, pages 2045-2050, XP000526849 ----- | 1 |

☐ Further documents are listed in the continuation of box C.

☒ Patent family members are listed in annex.

* Special categories of cited documents:

- "A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance
- "E" earlier document but published on or after the international filing date
- "L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)
- "O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means
- "P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art.

"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

18 February 1998

Date of mailing of the international search report

27/02/1998

Name and mailing address of the ISA

European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2
NL - 2280 HV Rijswijk
Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,
Fax: (+31-70) 340-3016

Authorized officer

Kelperis, K

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International Application No

PCT/EP 97/06079

| Patent document cited in search report | Publication date | Patent family member(s) | Publication date |
|---|---------------------|--|--|
| US 4978865 A | 18-12-90 | DE 3824526 A EP 0351451 A | 25-01-90 24-01-90 |
| US 5311548 A | 10-05-94 | DE 4109233 A FR 2674967 A IT 1254283 B JP 5080801 A | 24-09-92 09-10-92 14-09-95 02-04-93 |

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Internationale Aktenzeichen

PCT/EP 97/06079

A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES

IPK 6 G05B11/28

Nach der Internationalen Patentklassifikation (IPK) oder nach der nationalen Klassifikation und der IPK

B. RECHERCHIERTE GEBIETE

Recherchierte Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole)

IPK 6 G05B

Recherchierte aber nicht zum Mindestprüfstoff gehörende Veröffentlichungen, soweit diese unter die recherchierten Gebiete fallen

Während der internationalen Recherche konsultierte elektronische Datenbank (Name der Datenbank und evtl. verwendete Suchbegriffe)

C. ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

| Kategorie* | Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile | Betr. Anspruch Nr. |
|------------|---|--------------------|
| A | US 4 978 865 A (HARTMANN RALF ET AL) 18.Dezember 1990 siehe das ganze Dokument | 1 |
| A | US 5 311 548 A (NIKOLAUS HEINRICH) 10.Mai 1994 siehe das ganze Dokument | 1 |
| A | LIM K W ET AL: "PROPORTIONAL CONTROL OF A SOLENOID ACTUATOR" PROCEEDINGS OF THE INTERNATIONAL CONFERENCE ON INDUSTRIAL ELECTRONIC CONTROL AND INSTRUMENTATION. (IECON), BOLOGNA, SEPT. 5 - 9, 1994 SPECIAL SESSIONS, SIGNAL PROCESSING AND CONTROL, Bd. 3 OF 3, 5.September 1994, INSTITUTE OF ELECTRICAL AND ELECTRONICS ENGINEERS, Seiten 2045-2050, XP000526849 | 1 |



Weitere Veröffentlichungen sind der Fortsetzung von Feld C zu entnehmen



Siehe Anhang Patentfamilie

* Besondere Kategorien von angegebenen Veröffentlichungen :

"A" Veröffentlichung, die den allgemeinen Stand der Technik definiert, aber nicht als besonders bedeutsam anzusehen ist

"E" älteres Dokument, das jedoch erst am oder nach dem internationalen Anmeldedatum veröffentlicht worden ist

"L" Veröffentlichung, die geeignet ist, einen Prioritätsanspruch zweifelhaft erscheinen zu lassen, oder durch die das Veröffentlichungsdatum einer anderen im Recherchenbericht genannten Veröffentlichung belegt werden soll oder die aus einem anderen besonderen Grund angegeben ist (wie ausgeführt)

"O" Veröffentlichung, die sich auf eine mündliche Offenbarung, eine Benutzung, eine Ausstellung oder andere Maßnahmen bezieht

"P" Veröffentlichung, die vor dem internationalen Anmeldedatum, aber nach dem beanspruchten Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist

"T" Spätere Veröffentlichung, die nach dem internationalen Anmeldedatum oder dem Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist und mit der Anmeldung nicht kollidiert, sondern nur zum Verständnis des der Erfindung zugrundeliegenden Prinzips oder der ihr zugrundeliegenden Theorie angegeben ist

"X" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann allein aufgrund dieser Veröffentlichung nicht als neu oder auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden

"Y" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann nicht als auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden, wenn die Veröffentlichung mit einer oder mehreren anderen Veröffentlichungen dieser Kategorie in Verbindung gebracht wird und diese Verbindung für einen Fachmann naheliegend ist

"Z" Veröffentlichung, die Mitglied derselben Patentfamilie ist

Datum des Abschlusses der internationalen Recherche

18. Februar 1998

Absenddatum des internationalen Recherchenberichts

27/02/1998

Name und Postanschrift der Internationalen Recherchenbehörde
Europäisches Patentamt, P.B. 5818 Patentlaan 2
NL - 2280 HV Rijswijk
Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,
Fax: (+31-70) 340-3016

Bevollmächtigter Bediensteter

Kelperis, K

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Angaben zu Veröffentlichungen, die zur selben Patentfamilie gehören

Internationales Aktenzeichen

PCT/EP 97/06079

| Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument | Datum der Veröffentlichung | Mitglied(er) der Patentfamilie | Datum der Veröffentlichung |
|--|-------------------------------|-----------------------------------|-------------------------------|
| US 4978865 A | 18-12-90 | DE 3824526 A | 25-01-90 |
| | | EP 0351451 A | 24-01-90 |
| US 5311548 A | 10-05-94 | DE 4109233 A | 24-09-92 |
| | | FR 2674967 A | 09-10-92 |
| | | IT 1254283 B | 14-09-95 |
| | | JP 5080801 A | 02-04-93 |